

8/9/2 (Item 1 from file: 347)
DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2004 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05666022 **Image available**
LIGHT WAVE INTERFERENCE MEASURING DEVICE

PUB. NO.: 09-280822 [JP 9280822 A]
PUBLISHED: October 31, 1997 (19971031)
INVENTOR(s): KAWAI HITOSHI
KAWAKAMI JUN
TSUKIHARA KOICHI
APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)
APPL. NO.: 08-117083 [J P 96117083]
FILED: April 15, 1996 (19960415)
INTL CLASS: [6] G01B-011/00; G01B-009/02
JAPIO CLASS: 46.1 (INSTRUMENTATION -- Measurement)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the crosstalk caused by leaked light beams and to improve the precision in the measurement by installing a wavelength plate in the optical path between the polarization beam splitter of a second interference system and an SHG converting element.

SOLUTION: A reference light beam 51 having a frequency ω (sub 3), which goes through a polarization beam splitter 20, goes through a wavelength plate 22 and becomes a reference light beam 71 having the polarization orientation vertical to the surface of the paper. On the other hand, a reference light beam 50 having a frequency ω (sub 2) becomes a light beam 70 in which the polarization orientation is rotated by a prescribed angle around the optical axis that is vertical to the surface of the paper. Moreover, the beam 71 goes through an SHG converting element 9 and becomes a light beam 81. Since the beam 70 becomes a light beam 80 in which the polarization orientation is vertical to the surface of the paper and the beams are interfered with each other because the polarization orientations are coincided. Furthermore, a leaked light beam 52 which goes through the beam splitter 20 and has the frequency ω (sub 2) and a leaked light beam 53 having the frequency ω (sub 3) going through the plate 22 become light beams 72 and 73 having the polarization orientation parallel to the surface of the paper. However, the beams go through the element 9 and become light beams 80 and 81 having orthogonal polarization orientations and no interference occurs. Thus, no interference occurs between a leaked light beam 82 and the beam 80 and no crosstalk is generated.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-280822

(43) 公開日 平成9年(1997)10月31日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

G

9/02

9/02

審査請求 未請求 請求項の数 6 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平8-117083

(22) 出願日

平成8年(1996)4月15日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 河井 斉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 川上 潤

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 月原 浩一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

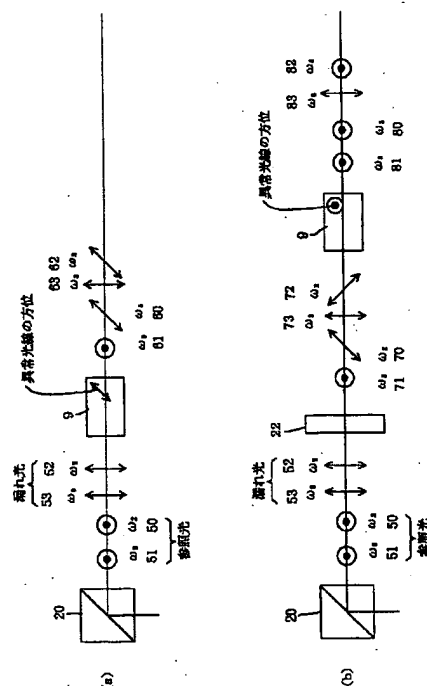
(74) 代理人 弁理士 山口 幸雄

(54) 【発明の名称】 光波干渉測定装置

(57) 【要約】

【課題】 偏光ビームスプリッターにおける漏れ光に起因するクロストークの低減された、測定精度の高い光波干渉測定装置。

【解決手段】 第2干渉光生成系は、第2の測定光の偏光方位を所定角度回転させるための第1偏光方位回転手段と、第1偏光方位回転手段を介した第2の測定光を第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ偏光方位回転手段を介した第3の測定光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第1周波数変換素子とを有し、第3干渉光生成系は、第2の参照光の偏光方位を所定角度回転させるための第2偏光方位回転手段と、第2偏光方位回転手段を介した第2の参照光を第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ偏光方位回転手段を介した第3の参照光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第2周波数変換素子とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の周波数を有する第1の光と、第2の周波数を有する第2の光と、前記第2の周波数とは異なる第3の周波数を有する第3の光とを同一光路に沿って出力するための光源部と、
前記光源部から出力された前記第1の光、前記第2の光および前記第3の光を、固定鏡までの参照光路に沿って導かれる参照光と、移動鏡までの測定光路に沿って導かれる測定光とにそれぞれ偏光分離するための第1偏光ビームスプリッターと、
前記測定光路および前記参照光路を介して前記第1偏光ビームスプリッターから同一光路に沿って射出された前記第1の光に基づいて、前記測定光路を介した測定光と前記参照光路を介した参照光との第1干渉光を生成するための第1干渉光生成系と、
前記測定光路および前記参照光路を介して前記第1偏光ビームスプリッターから同一光路に沿って射出された前記第2の光および前記第3の光を、前記測定光路を介した前記第2の周波数を有する第2の測定光および前記第3の周波数を有する第3の測定光と、前記参照光路を介した前記第2の周波数を有する第2の参照光および前記第3の周波数を有する第3の参照光とに偏光分離するための第2偏光ビームスプリッターと、
前記第2偏光ビームスプリッターによって分離された前記第2の測定光および前記第3の測定光のうち前記第2の測定光の周波数を前記第3の測定光の周波数とほぼ一致させて第2干渉光を生成するための第2干渉光生成系と、
前記第2偏光ビームスプリッターによって分離された前記第2の参照光および前記第3の参照光のうち前記第2の参照光の周波数を前記第3の参照光の周波数とほぼ一致させて第3干渉光を生成するための第3干渉光生成系と、
前記第1干渉光に基づいて測定された前記移動鏡の変位量を、前記第2干渉光および前記第3干渉光に基づいて測定された前記測定光路中の屈折率変動情報に基づいて補正するための補正手段とを備え、
前記第2干渉光生成系は、前記第2の測定光の偏光方位を所定角度回転させるための第1偏光方位回転手段と、
前記第1偏光方位回転手段を介した前記第2の測定光を前記第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ前記偏光方位回転手段を介した前記第3の測定光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第1周波数変換素子とを有し、
前記第3干渉光生成系は、前記第2の参照光の偏光方位を所定角度回転させるための第2偏光方位回転手段と、
前記第2偏光方位回転手段を介した前記第2の参照光を前記第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ前記偏光方位回転手段を介した前記第3の参照光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第2周波数変

換素子とを有することを特徴とする光波干渉測定装置。

【請求項2】 前記第1偏光方位回転手段は、前記第2の測定光に対して1/2波長板として作用するとともに前記第3の測定光に対して1波長板として作用し、
前記第1周波数変換素子は、前記第3の測定光の偏光方位と平行な異常光線方位を有する負の非線形結晶からなり、
前記第2偏光方位回転手段は、前記第2の参照光に対して1/2波長板として作用するとともに前記第3の参照光に対して1波長板として作用し、
前記第2周波数変換素子は、前記第3の参照光の偏光方位と平行な異常光線方位を有する負の非線形結晶からなることを特徴とする請求項1に記載の光波干渉測定装置。

【請求項3】 前記光源部は、周波数が互いにわずかに異なり且つ偏光方位が互いに直交する周波数 ω_1 の光と周波数 ω_1' の光とを含んだ光を前記第1の光として出力し、
前記偏光ビームスプリッターは、前記周波数 ω_1 の光を前記測定光に、前記周波数 ω_1' の光を前記参照光にそれぞれ偏光分離することを特徴とする請求項1または2に記載の光波干渉測定装置。

【請求項4】 前記光源部は、
前記第1の光を出力するための第1光源部と、
前記第2の光および前記第3の光を出力するための第2光源部と、
前記第2光源部からの前記第2の光および前記第3の光と、前記第1光源部からの前記第1の光とを同一光路上に結合させるための周波数結合素子とを有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光波干渉測定装置。

【請求項5】 前記第2光源部は、前記第2の光を出力するための光源と、前記光源からの前記第2の光の一部を周波数変換し、該周波数変換した光を前記第3の光として出力するための周波数変換手段とを有することを特徴とする請求項4に記載の光波干渉測定装置。

【請求項6】 前記第2光源部は、前記第2の光および前記第3の光のうち少なくともいずれか一方の光の周波数をわずかにシフトさせるための周波数シフト手段をさらに有することを特徴とする請求項4または5に記載の光波干渉測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光波干渉測定装置および光波干渉測定方法に関し、特に高精度な変位計測を行うための光波干渉測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図5は、従来の光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。図5の光波干渉測定装置は、移動鏡6の光軸方向（図中矢印方向）の変位量を測長す

るものである。測長用光源12は、周波数 ω_1 の光と周波数 ω_1' ($\omega_1' = \omega_1 + \Delta\omega_1$)の光とを含む光を射出する。この2つの光は、周波数が互いにわずかに異なり、偏光方位が互いに直交している。

【0003】この2つの光は、ビームスプリッター13を介して偏光ビームスプリッタ4に入射し、周波数 ω_1' の光と周波数 ω_1 の光とに分離される。周波数 ω_1' の光は参照光となり、固定鏡5で反射された後、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。また、周波数 ω_1 の光は測定光となり、移動鏡6で反射された後、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。

【0004】偏光ビームスプリッタ4に戻ってきた測定光と参照光とは、同一光路に沿って偏光ビームスプリッタ4から射出される。同一光路に沿って偏光ビームスプリッタ4から射出された測定光と参照光とは、偏光板(不図示)を介して干渉する。干渉光は、受光素子16で受光される。受光素子16で変換された測定ビート信号(周波数 $\Delta\omega_1$)は、位相計17に入力される。

【0005】一方、測長用光源12から射出された2つの光の一部はビームスプリッタ13によって反射され、偏光板(不図示)を介して干渉する。干渉光は受光素子14によって検出され、参照ビート信号(周波数 $\Delta\omega_1$)として位相計17に入力される。位相計17は、参照ビート信号に対する測定ビート信号の位相変化を測定することによって移動鏡6の変位量を求め、その変位量情報に関する信号を演算器35に出力する。

【0006】ところで、図5のような光波の干渉による測長を精密(高精度)に行うためには、光路中の空気(またはその他の気体)の屈折率変動を無視することができない。そこで、従来の光波干渉測定装置は、図5に示すように、測定光路中の空気の屈折率変動に起因する測長誤差の補正手段としてエアセンサ32を備えている。すなわち、エアセンサ32を用いて測定光路中の大気の温度、圧力、湿度を測定し、この測定結果に基づいて光の波長を補正することによって、空気の屈折率変動に起因する測長誤差を補正している。

【0007】すなわち、真の変位量をDとし、空気の屈折率をnとし、nは空間的に一様であるとする、光波干渉測定装置で測定される変位量Dmは、

$$\text{【数1】 } D_m = n D \cdots (1)$$

と表される。

【0008】ここで、nを光の波長を用いて表すと、

$$\text{【数2】 } D_m = \lambda_0 D / \lambda \cdots (2)$$

となる。但し、 $\lambda = c / \omega$ である。ここで、 λ_0 は真空中の光の波長であり、 λ は測定光路に沿った光の波長である。

【0009】なお、波長 λ は、測定光路中の空気の温度、圧力、湿度に依存する量である。したがって、測定光路に沿った空気の温度、圧力、湿度をエアセンサ32で測定することにより、波長 λ を求めることができる。

すなわち、演算器35は、位相計17からの変位Dmの信号と、エアセンサ32からの温度、圧力、湿度の測定信号と、式(2)に示す演算式とに基づいて、移動鏡6の真の変位量Dを求めることができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、従来の技術では、測定光路の1箇所のみにおいて空気の温度、圧力、湿度をエアセンサで検出している。このため、空気の屈折率が測定光路に沿って一様に変動している場合には正確な補正が可能であるが、空気の屈折率が測定光路上において局所的に変動している場合には、空気の屈折率変動に起因する測長誤差を正確に補正することができないという不都合があった。

【0011】そこで、本発明者等は、特願平6-335696号の明細書および図面において、異なる周波数の光を用いて空気の屈折率変動に起因する測長誤差を補正することの可能な光波干渉測定装置を提案している。なお、特願平6-335696号の明細書および図面に開示された光波干渉測定装置は、本件出願時に未だ公開されておらず、本件出願の従来技術に属していない。

【0012】図4は、特願平6-335696号の明細書および図面に開示の光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。なお、図4において、図5の従来の光波干渉測定装置の構成要素と同様な要素については同じ参照符号を付している。以下、図5の装置との相違に着目して図4の装置の説明を行い、重複する説明を省略する。

【0013】図4の光波干渉測定装置では、測長用光源12から射出される光と同じ光路上に、2つの異なる周波数 ω_2 (基本波)および ω_3 (第2高調波: $2\omega_2 = \omega_3$)のレーザ光を結合させている。こうして、この2つの異なる周波数のレーザ光により、測長用干渉計の光路中で空気の屈折率変動を求めることができる。

【0014】図4の光波干渉測定装置では、光源1から射出された周波数 ω_2 の光の一部が第2高調波変換素子(以下、「SHG変換素子」という)2によって周波数 ω_3 ($\omega_3 = 2\omega_2$)の光に変換され、残部はSHG変換素子2をそのまま透過する。なお、SHG変換素子2を介した周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光の偏光方位は、測長用光源12から射出される光の偏光方位に対して45°の角度をなしている。周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、たとえばダイクロイックミラーからなる周波数結合素子3によって測長用光源12から射出された周波数 ω_1 の光と同一光路上に結合する。結合された光は、同じ光路を介して、偏光ビームスプリッター4に入射する。

【0015】周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、偏光ビームスプリッター4によって、固定鏡5側に反射される光(参照光)と移動鏡6側へ透過する光(測定

光)とに分割される。参照光と測定光とは、その偏光方位が互いに直交しているが、いずれも周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光をそれぞれ含んでいる。その後、固定鏡5および移動鏡6でそれぞれ反射された参照光および測定光(それぞれ周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光を含む)は、偏光ビームスプリッター4に入射して結合され、同一光路に沿って射出される。

【0016】偏光ビームスプリッター4で結合された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、たとえばダイクロミックミラーからなる周波数分離素子7で反射される。こうして、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、周波数分離素子7を透過する周波数 ω_1 の光と分離され、偏光ビームスプリッター20に入射する。偏光ビームスプリッター20は、移動鏡6で反射された測定光(周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光)を透過し、固定鏡5で反射された参照光(周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光)を反射する。

【0017】偏光ビームスプリッター20を透過した周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光のうち周波数 ω_2 の光の一部は、SHG変換素子8によって周波数 ω_3 ($2\omega_2=\omega_3$)の光に変換される。一方、周波数 ω_3 の光は、SHG変換素子8をそのまま透過する。その結果、SHG変換素子8によって周波数 ω_2 から周波数 ω_3 に変換された光と移動鏡6で反射された周波数 ω_3 の光とが干渉し、その干渉光が受光素子10によって検出される。また、偏光ビームスプリッター20で反射された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光についても、SHG変換素子9の作用により、周波数 ω_2 から周波数 ω_3 に変換された光と固定鏡5で反射された周波数 ω_3 の光と

$$D=D(\omega_1)-A\{D(\omega_3)-D(\omega_2)\}\cdots(6)$$

但し、 $A=(n_1-1)/(n_3-n_2)$ である。

【0022】式(6)の右辺第2項の $D(\omega_3)-D(\omega_2)$ は、上述したように、位相計18によって求めることができる。また、右辺第1項の $D(\omega_1)$ は、位相計17によって求めることができる。したがって、演算器19では、位相計17の出力信号と位相計18の出力信号とに基づいて、式(6)の演算式により、測長用干渉計で測定した変位量 $D(\omega_1)$ を補正し、真の変位量 D を求めることができる。

【0023】図4の光波干渉測定装置では、光源1からの周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光が、測長用光源12から射出された測長用の光と同一の光路を通る。このため、空気の屈折率変動が測定光路に沿って一様でない場合も、空気の屈折率変動に起因する測長誤差を補正し、移動鏡の光軸方向の変位量を高精度に測定することができる。

【0024】しかしながら、図4の光波干渉測定装置では、移動鏡6で反射された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光からなる測定光と、固定鏡5で反射された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光からなる参照光とが、

の干渉光が受光素子11で検出される。

【0018】受光素子10および11でそれぞれ検出された干渉信号は、位相計18に入力される。位相計18では、受光素子11からの干渉信号(参照信号)に対する受光素子10からの干渉信号(測定信号)の位相変化を測定する。こうして、周波数 ω_3 の光に対する光路長変化 $D(\omega_3)$ と周波数 ω_2 の光に対する光路長変化 $D(\omega_2)$ との差すなわち $\{D(\omega_3)-D(\omega_2)\}$ を求めることができる。位相計18で求められた $\{D(\omega_3)-D(\omega_2)\}$ に関する信号は、演算器19に供給される。

【0019】演算器19では、測長用光源12を用いた測長用干渉計で測定した移動鏡6の変位量 D_m を補正し、真の変位量(幾何学的な距離) D が求められる。以下、移動鏡6の変位量 D_m から真の変位量(幾何学的な距離) D への補正について説明する。周波数 ω_1 、 ω_2 および ω_3 の光に対する光路長変化 $D(\omega_1)$ 、 $D(\omega_2)$ および $D(\omega_3)$ は、それぞれ次の式(3)乃至(5)により表される。

【0020】

$$\text{【数3】 } D(\omega_1)=n_1 \cdot D \cdots (3)$$

$$\text{【数4】 } D(\omega_2)=n_2 \cdot D \cdots (4)$$

$$\text{【数5】 } D(\omega_3)=n_3 \cdot D \cdots (5)$$

【0021】ここで、 D は幾何学的な距離であり、 $n_1 \sim n_3$ は周波数 $\omega_1 \sim \omega_3$ の光に対する光路中の空気(または他の気体)の屈折率である。上述の式(3)乃至(5)より、幾何学的距離 D は次の式(6)によって与えられる。

【数6】

偏光ビームスプリッター4で一旦結合され、その後偏光ビームスプリッター20で分離される。このため、偏光ビームスプリッター20の偏光特性(性能や配置の不完全さなど)に起因して測定の S/N 比が悪くなり、測定精度が低下することがある。以下、偏光ビームスプリッター20の偏光特性(性能や配置の不完全さなど)に起因する測定精度の低下について説明する。

【0025】偏光ビームスプリッター20で分離された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、上述したように、受光素子11で検出される周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光の信号と、受光素子10で検出される周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光の信号との位相差として検出される。したがって、偏光ビームスプリッター20に入射した光が固定鏡5で反射された参照光と移動鏡6で反射された測定光とに精度良く分離されない場合、それぞれの受光素子に対して検出すべき光以外の光が漏れ光として入射してしまう。その結果、その漏れ光がクロストークとなり、測定精度が低下してしまう。特に、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光のうち、周波数の高い光すなわち周波数 ω_3 の光の漏れ光が測定誤差に大

きく影響する。

【0026】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、偏光ビームスプリッターにおける漏れ光に起因するクロストークの低減された、測定精度の高い光波干渉測定装置を提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明において、第1の周波数を有する第1の光と、第2の周波数を有する第2の光と、前記第2の周波数とは異なる第3の周波数を有する第3の光とを同一光路に沿って出力するための光源部と、前記光源部から出力された前記第1の光、前記第2の光および前記第3の光を、固定鏡までの参照光路に沿って導かれる参照光と、移動鏡までの測定光路に沿って導かれる測定光とにそれぞれ偏光分離するための第1偏光ビームスプリッターと、前記測定光路および前記参照光路を介して前記第1偏光ビームスプリッターから同一光路に沿って射出された前記第1の光に基づいて、前記測定光路を介した測定光と前記参照光路を介した参照光との第1干渉光を生成するための第1干渉光生成系と、前記測定光路および前記参照光路を介して前記第1偏光ビームスプリッターから同一光路に沿って射出された前記第2の光および前記第3の光を、前記測定光路を介した前記第2の周波数を有する第2の測定光および前記第3の周波数を有する第3の測定光と、前記参照光路を介した前記第2の周波数を有する第2の参照光および前記第3の周波数を有する第3の参照光とに偏光分離するための第2偏光ビームスプリッターと、前記第2偏光ビームスプリッターによって分離された前記第2の測定光および前記第3の測定光のうち前記第2の測定光の周波数を前記第3の測定光の周波数とほぼ一致させて第2干渉光を生成するための第2干渉光生成系と、前記第2偏光ビームスプリッターによって分離された前記第2の参照光および前記第3の参照光のうち前記第2の参照光の周波数を前記第3の参照光の周波数とほぼ一致させて第3干渉光を生成するための第3干渉光生成系と、前記第1干渉光に基づいて測定された前記移動鏡の変位量を、前記第2干渉光および前記第3干渉光に基づいて測定された前記測定光路中の屈折率変動情報に基づいて補正するための補正手段とを備え、前記第2干渉光生成系は、前記第2の測定光の偏光方位を所定角度回転させるための第1偏光方位回転手段と、前記第1偏光方位回転手段を介した前記第2の測定光を前記第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ前記偏光方位回転手段を介した前記第3の測定光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第1周波数変換素子とを有し、前記第3干渉光生成系は、前記第2の参照光の偏光方位を所定角度回転させるための第2偏光方位回転手段と、前記第2偏光方位回転手段を介した前記第2の参照光を前記第2の周波数とは異なる周波数を有し且つ前記偏光方位回転手段を介した前記第3

の参照光の偏光方位と平行な偏光方位を有する光に変換するための第2周波数変換素子とを有することを特徴とする光波干渉測定装置を提供する。

【0028】本発明の好ましい態様によれば、前記第1偏光方位回転手段は、前記第2の測定光に対して $1/2$ 波長板として作用するとともに前記第3の測定光に対して1波長板として作用し、前記第1の周波数変換素子は第2高調波変換素子（以下、「SHG変換素子」という）であり、前記第3の測定光の偏光方位と平行な異常光線方位を有する負の非線形結晶からなり、前記第2偏光方位回転手段は、前記第2の参照光に対して $1/2$ 波長板として作用するとともに前記第3の参照光に対して1波長板として作用し、前記第2の周波数変換素子はSHG変換素子であり、前記第3の参照光の偏光方位と平行な異常光線方位を有する負の非線形結晶からなる。

【0029】

【発明の実施の形態】本発明の光波干渉測定装置では、第2偏光ビームスプリッターを介した第2の光および第3の光の偏光方位とSHG変換素子の異常光線方位とを平行にしている。そして、第2の光および第3の光のうち第2高調波に変換すべき第2の光の偏光方位を、偏光方位回転手段によって所定角度だけ回転させている。したがって、偏光方位回転手段とSHG変換素子との組み合わせ作用により、SHG変換された第2の光の偏光方位とSHG変換されない第3の光の偏光方位とを一致させることができる。

【0030】一方、第2偏光ビームスプリッターを介した第2漏れ光（第2の光に対応する漏れ光）および第3漏れ光（第3の光に対応する漏れ光）の偏光方位と第2の光および第3の光の偏光方位とが直交しているため、SHG変換されない第3漏れ光の偏光方位とSHG変換された第2の光の偏光方位とは必然的に直交する。その結果、第3漏れ光と第2の光とは全く干渉しない。また、SHG変換された光第2漏れ光の偏光方位は、SHG変換されない第3の光の偏光方位と一致する。しかしながら、SHG変換された第2漏れ光の強度は極めて小さいので、第2漏れ光と第3の光との干渉によるクロストークの影響は極めて小さく、測定精度は実質的に低下しない。

【0031】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施例にかかる光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。なお、第1実施例の光波干渉測定装置では、いわゆるホモダイン干渉方式を用いて屈折率変動の測定を行っている。

【0032】図1の光波干渉測定装置は、屈折率変動を測定するための光を供給する光源1を備えている。光源1から射出された周波数 ω_2 の光はSHG変換素子2に入射し、周波数 ω_2 の光の一部がSHG変換素子2により周波数 ω_3 （ $\omega_3 = 2\omega_2$ ）のSHG光に変換され、残部はSHG変換素子2をそのまま透過する。SHG変

換素子2から射出された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、たとえばダイクロイックミラーからなる周波数結合素子3によって反射され、後述する測長用光源12からの光(周波数 ω_1 近傍の光)と同一光路上に結合される。なお、周波数結合素子3は、周波数 ω_1 近傍の光のみを透過し、それ以外の周波数の光を反射する特性を有する。

【0033】周波数結合素子3で反射された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、偏光ビームスプリッタ4に入射する。偏光ビームスプリッタ4は、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光の偏光方位に対して 45° だけ傾いて配置されている。したがって、偏光ビームスプリッタ4に入射した光は、2つの光、すなわち偏光ビームスプリッタ4で反射されて固定鏡5に導かれる参照光と、偏光ビームスプリッタ4を透過して移動鏡6に導かれる測定光とに分割される。このように、参照光と測定光とは偏光方位が互いに直交しており、いずれも周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光の双方を含んでいる。

【0034】偏光ビームスプリッタ4で反射された参照光は、コーナキューブプリズムからなる固定鏡5で反射された後、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。他方、偏光ビームスプリッタ4を透過した測定光も移動台(不図示)に取り付けられたコーナキューブプリズムからなる移動鏡6で反射され、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。

【0035】こうして、参照光路を介して偏光ビームスプリッタ4から射出された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光と、測定光路を介して偏光ビームスプリッタ4から射出された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光とは、同一光路に沿って周波数分離素子7に入射する。周波数分離素子7は周波数結合素子3と同様に、たとえばダイクロイックミラーで構成され、周波数 ω_1 近傍の光のみを透過し、他の周波数の光を反射する特性を有する。したがって、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、周波数分離素子7の作用により、後述する測長用光源12からの光(周波数 ω_1 近傍の光)から分離される。

【0036】周波数分離素子7で反射された周波数 ω_2 の光と周波数 ω_3 の光、すなわち参照光路を介した周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光と、測定光路を介した周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光とは、同一光路に沿って偏光ビームスプリッター20に入射する。偏光ビームスプリッター20は、移動鏡6で反射された測定光(周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光)を透過し、固定鏡5で反射された参照光(周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光)を反射する。

【0037】偏光ビームスプリッター20を透過した周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光のうち周波数 ω_2 の光は、波長板21を介した後、SHG変換素子8によって周波数 ω_3 ($2\omega_2 = \omega_3$)の光に変換される。一

方、周波数 ω_3 の光は、波長板21を介した後、SHG変換素子8をそのまま透過する。その結果、SHG変換素子8によって周波数 ω_2 から周波数 ω_3 に変換された光と移動鏡6で反射された周波数 ω_3 の光とが干渉し、その干渉光が受光素子10によって検出される。

【0038】また、偏光ビームスプリッター20で反射された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光についても、波長板22を介した後、SHG変換素子9の作用により、周波数 ω_2 から周波数 ω_3 に変換された光と固定鏡5で反射された周波数 ω_3 の光との干渉光が受光素子11で検出される。なお、波長板21および波長板22は、周波数が ω_3 近傍の光に対して1波長板として機能し、周波数が ω_2 近傍の光に対して $1/2$ 波長板として機能する光学素子であって、その作用については図2を参照して後述する。受光素子11からの干渉信号(参照信号)および受光素子10からの干渉信号(測定信号)は、ともに位相計18に供給される。

【0039】位相計18では、参照光路を介した周波数 ω_2 の光と周波数 ω_3 の光とによる干渉信号(参照信号)と測定光路を介した周波数 ω_2 の光と周波数 ω_3 の光とによる干渉信号(測定信号)との位相差に基づいて、周波数 ω_3 の光に対する光路長変化 $D(\omega_3)$ と周波数 ω_2 の光に対する光路長変化 $D(\omega_2)$ との差である $\{D(\omega_3) - D(\omega_2)\}$ を求める。位相計18で求められた $\{D(\omega_3) - D(\omega_2)\}$ に関する信号は、演算器19に供給される。

【0040】図1の光波干渉測定装置はまた、移動鏡6の光軸方向(図中矢印方向)の変位量を測長するための光を供給する測長用光源12を備えている。測長用光源12は、周波数が互いにわずかに異なり且つ偏光方位が互いに直交する2つの光、すなわち周波数 ω_1 の光および周波数 ω_1' ($\omega_1' = \omega_1 + \Delta\omega_1$)の光を同一光路に沿って射出する。以下、この周波数 ω_1 の光と周波数 ω_1' の光とを2周波光(または直交2周波光)と呼ぶ。測長用光源12から射出されたこの直交2周波光の一部は、ビームスプリッタ13を透過した後、周波数結合素子3に入射する。

【0041】周波数結合素子3を透過した2周波光は、偏光ビームスプリッタ4に入射する。偏光ビームスプリッタ4は、周波数 ω_1' の光と同一な偏光方位の光を反射し、周波数 ω_1 の光と同一な偏光方位の光を透過するように配置されている。したがって、偏光ビームスプリッタ4に入射した2周波光のうち周波数 ω_1' の光は、偏光ビームスプリッタ4で反射され、参照光としてコーナキューブプリズムからなる固定鏡5に導かれる。一方、2周波光のうち周波数 ω_1 の光は、偏光ビームスプリッタ4を透過し、測定光としてコーナキューブプリズムからなる移動鏡6に導かれる。

【0042】参照光は、固定鏡5で反射された後、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。また、偏光ビームスプ

リッタ4を透過した測定光も移動鏡6で反射され、再び偏光ビームスプリッタ4に戻る。このように、周波数 ω_1 'の参照光は周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光からなる参照光と同じ光路に沿って、周波数 ω_1 の測定光は周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光からなる測定光と同じ光路に沿って、偏光ビームスプリッタ4にそれぞれ戻る。

【0043】こうして、参照光路を介して偏光ビームスプリッタ4から射出された周波数 ω_1 'の光と、測定光路を介して偏光ビームスプリッタ4から射出された周波数 ω_1 の光とは、同一光路に沿って周波数分離素子7に入射する。前述したように、周波数分離素子7は、周波数が ω_1 近傍の光のみを透過し、他の周波数の光を反射する特性を有する。したがって、周波数 ω_1 'の参照光および周波数 ω_1 の測定光は、周波数分離素子7を透過する。周波数分離素子7を透過した周波数 ω_1 'の参照光および周波数 ω_1 の測定光は、偏光板(不図示)を介して干渉する。干渉光は受光素子16で受光され、受光素子16は干渉光に基づく測定ビート信号(周波数 $\Delta\omega_1$)を位相計17に供給する。

【0044】一方、測長用光源12から射出された2周波光すなわち周波数 ω_1 'の光および周波数 ω_1 の光の一部は、ビームスプリッタ13によって反射された後、偏光板(不図示)を介して干渉する。干渉光は、受光素子14によって検出される。受光素子14は、周波数 ω_1 'の光と周波数 ω_1 の光との干渉光に基づく参照ビート信号(周波数 $\Delta\omega_1$)を位相計17に供給する。

【0045】位相計17では、参照ビート信号に対する測定ビート信号の位相変化を測定することによって屈折率変動の影響を考慮していない移動鏡6の変位量D(ω_1)を求め、この変位量D(ω_1)に関する信号を演算器19に供給する。演算器19では、位相計17からの信号と位相計18からの信号と式(6)に示す演算式とに基づいて、屈折率変動に起因する測定誤差を補正した移動鏡6の真の変位量Dを、ひいては移動台の真の変位量Dを求めて出力する。

【0046】図2は、図1の波長板21および22の作用について説明する図であって、(a)は比較のために波長板を備えていない従来例を、(b)は波長板を備えた第1実施例をそれぞれ示している。なお、図2では、波長板22およびSHG変換素子9からなり参照光を受光すべき光学系について説明しているが、波長板21およびSHG変換素子8からなり測定光を受光すべき光学系についても原理は全く同じである。

【0047】図2(a)において、周波数 ω_2 の光50および周波数 ω_3 の光51は、偏光ビームスプリッター20を介した参照光であり、ともに図面の紙面に垂直な偏光方位を有する。また、周波数 ω_2 の光52および周波数 ω_3 の光53は、本来偏光ビームスプリッター20を透過すべき測定光のうち偏光ビームスプリッター20

で反射された漏れ光であり、ともに図面の紙面に垂直な偏光方位を有する。

【0048】参照光のうち周波数 ω_3 の光51は、SHG変換素子9をそのまま通過して、周波数 ω_3 の光61となる。なお、周波数 ω_3 の光61の偏光方位は、紙面に垂直なままである。一方、参照光のうち周波数 ω_2 の光50は、SHG変換素子9を介して周波数 ω_3 の光60となる。なお、周波数 ω_3 の光60の偏光方位は、SHG変換素子9の異常光線方位に沿った方向、すなわち紙面に垂直な方向から光軸まわりに所定角度回転した方向になる。

【0049】また、漏れ光のうち周波数 ω_3 の光53は、SHG変換素子9をそのまま通過して、周波数 ω_3 の光63となる。なお、周波数 ω_3 の光63の偏光方位は、紙面に平行なままである。一方、漏れ光のうち周波数 ω_2 の光52は、SHG変換素子9を介して周波数 ω_3 の光62となる。なお、周波数 ω_3 の光62の偏光方位は、SHG変換素子9の異常光線方位に沿った方向、すなわち紙面に垂直な方向から光軸まわりに所定角度回転した方向になる。

【0050】こうして、図示を省略した偏光板を介して、SHG変換素子9をそのまま通過した周波数 ω_3 の参照光61と、SHG変換素子9を介して周波数が変換された周波数 ω_3 の参照光60とが干渉する。この際、SHG変換素子9をそのまま通過した周波数 ω_3 の漏れ光63と、SHG変換素子9を介して周波数が変換された周波数 ω_3 の参照光60とが干渉する。その結果、漏れ光63と参照光60との干渉がクロストークとなり、測定精度が低下する。

【0051】そこで、第1実施例では、図2(b)に示すように、偏光ビームスプリッター20とSHG変換素子9との間の光路中に波長板22を付設している。波長板22は、周波数 ω_3 の光に対して1波長板として作用し、周波数 ω_2 の光に対して1/2波長板として作用する光学素子である。また、SHG変換素子9を構成する負の非線形光学結晶の異常光線方位が図面の紙面に垂直で、その常光線方位が図面の紙面に平行になるようにSHG変換素子9が配置されている。そして、SHG変換は、負の結晶でタイプIIの位相整合によるものとする。

【0052】したがって、偏光ビームスプリッター20を介した周波数 ω_3 の参照光51は、参照光51に対して1波長板として作用する波長板22をそのまま通過して、紙面に垂直な偏光方位を有する周波数 ω_3 の光71となる。一方、偏光ビームスプリッター20を介した周波数 ω_2 の参照光50は、参照光50に対して1/2波長板として作用する波長板22を介して、偏光方位が紙面に垂直な方向から光軸まわりに所定角度回転した周波数 ω_2 の光70となる。

【0053】また、偏光ビームスプリッター20を介した周波数 ω_3 の漏れ光53は、漏れ光53に対して1波

長板として作用する波長板22をそのまま通過して、紙面に平行な偏光方位を有する周波数 ω_3 の光73となる。一方、偏光ビームスプリッター20を介した周波数 ω_2 の漏れ光52は、漏れ光52に対して1/2波長板として作用する波長板22を介して、偏光方位が紙面に平行な方向から光軸まわりに所定角度回転した周波数 ω_2 の光72となる。

【0054】周波数 ω_3 の参照光71は、SHG変換素子9をそのまま通過して、周波数 ω_3 の光81となる。なお、周波数 ω_3 の光81の偏光方位は、紙面に垂直なままである。一方、周波数 ω_2 の参照光70は、SHG変換素子9を介して周波数 ω_3 の光80となる。なお、周波数 ω_3 の光80の偏光方位は、SHG変換素子9の異常光線方位に沿った方向、すなわち紙面に垂直な方向になる。このように、周波数 ω_3 の光81の偏光方位と周波数 ω_3 の光80の偏光方位とが一致する。

【0055】また、周波数 ω_3 の漏れ光73は、SHG変換素子9をそのまま通過して、周波数 ω_3 の光83となる。なお、周波数 ω_3 の光83の偏光方位は、紙面に平行なままである。一方、周波数 ω_2 の漏れ光72は、SHG変換素子9を介して周波数 ω_3 の光82となる。なお、周波数 ω_3 の光82の偏光方位は、SHG変換素子9の異常光線方位に沿った方向、すなわち紙面に垂直な方向になる。このように、周波数 ω_3 の光83の偏光方位は、周波数 ω_3 の光80の偏光方位と直交する。

【0056】こうして、SHG変換素子9をそのまま通過した周波数 ω_3 の参照光81と、SHG変換素子9を介して周波数が変換された周波数 ω_3 の参照光80とが干渉する。この際、SHG変換素子9をそのまま通過した周波数 ω_3 の漏れ光83と、SHG変換素子9を介して周波数が変換された周波数 ω_3 の参照光80とは偏光方位が互いに直交しているため干渉することがない。その結果、漏れ光83と参照光80との干渉によるクロストークが発生することなく、測定精度は低下しない。

【0057】一方、SHG変換素子9をそのまま通過した周波数 ω_3 の参照光81と、SHG変換素子9を介して周波数が変換された周波数 ω_3 の漏れ光82とは干渉する。しかしながら、SHG変換素子9の変換効率は入射光の強度の二乗に比例するので、もともと弱い強度を有する漏れ光72に基づいてSHG変換により得られた漏れ光82の強度は極めて弱い。したがって、参照光81と漏れ光82との干渉によるクロストークの影響は極めて弱く、測定精度が実質的に低下することがない。

【0058】このように、第1実施例では、偏光ビームスプリッター20を介した参照光50および51の偏光方位とSHG変換素子9の異常光線方位とを平行にしている。そして、参照光50および51のうちSHG変換すべき参照光50の偏光方位を、波長板22によって所定角度だけ回転させている。したがって、波長板22とSHG変換素子9との組み合わせ作用により、参照光5

0に基づくSHG変換された光80の偏光方位と参照光51に基づくSHG変換されない光81の偏光方位とを一致させることができる。

【0059】一方、漏れ光52、53の偏光方位と参照光50、51の偏光方位とが直交しているため、漏れ光53に基づくSHG変換されない光83の偏光方位と参照光50に基づくSHG変換された光80の偏光方位とは必然的に直交する。その結果、漏れ光83と参照光80とは全く干渉しない。また、漏れ光52に基づくSHG変換された光82の偏光方位は、参照光51に基づくSHG変換されない光81の偏光方位と一致する。しかしながら、上述したように、漏れ光52に基づくSHG変換された光82の強度は極めて小さいので、漏れ光82と参照光81との干渉によるクロストークの影響は極めて小さく、測定精度は実質的に低下しない。

【0060】図3は、本発明の第2実施例にかかる光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。なお、第2実施例の光波干渉測定装置では、いわゆるヘテロダイン干渉方式を用いて屈折率変動の測定を行っている。

【0061】図3の光波干渉測定装置では、ヘテロダイン方式を用いて周波数 ω_2 の光と周波数 ω_3 の光との干渉光を検出するために、SHG変換素子2と周波数結合素子3との間に一対の周波数フィルター23a、23bおよび周波数シフター24を付設している。しかしながら、図3の装置の他の構成は、第1実施例の図1の装置と基本的に同じである。したがって、図3において、第1実施例の構成要素と同様の機能を有する要素には図1と同じ参照符号を付している。以下、第1実施例との相違点に着目して、第2実施例を説明する。

【0062】SHG変換素子2から射出された周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光は、周波数フィルター23aに入射する。周波数フィルター23aおよび23bは、周波数 ω_3 の近傍の光を透過し、周波数 ω_2 の光を反射する特性を有する。周波数フィルター23aを透過した周波数 ω_3 の光は、周波数シフター24を介して周波数 ω_3 からわずかに周波数のずれた周波数 ω_3' の光($\omega_3' = \omega_3 + \Delta\omega_3$)となる。なお、周波数シフター24は、例えば音響光学素子等である。周波数シフター24を介した周波数 ω_3' の光は、周波数フィルター23bに入射する。

【0063】一方、周波数フィルター23aで反射された周波数 ω_2 の光は、2つの反射鏡を介して、周波数フィルター23bに入射する。こうして、周波数 ω_3' の光および周波数 ω_2 の光は、周波数フィルター23bの作用によって再び同一光路上に結合される。その後、この周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3' の光は、第1実施例における周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光と同様の光路を介した後、周波数分離素子7によって測定光および参照光として反射される。

【0064】周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3' の光から

なる測定光のうち、周波数 ω_2 の光はSHG変換素子8によって変換されて周波数 ω_3 の光となり、周波数シフター24を介した周波数 ω_3' の光はSHG変換素子8をそのまま透過する。このように、第1実施例とは異なり、周波数が互いに $\Delta\omega_3$ だけ異なる2つの光すなわち周波数 ω_3 の光と周波数 ω_3' の光とがヘテロダイン干渉する。また、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3' の光からなる参照光も同様に、SHG変換素子9を介して、ヘテロダイン干渉する。

【0065】従って、受光素子11からの参照信号および受光素子10からの測定信号は、ともに干渉ビート信号となる。位相計18では、第1実施例と同様に、 $\{D(\omega_3) - D(\omega_2)\}$ を求め、この値に関する信号を演算器19に供給する。演算器19では、位相計17からの信号と位相計18からの信号と式(6)に示す演算式とに基づいて、屈折率変動に起因する測定誤差を補正した移動鏡6の真の変位量Dを求めて出力する。

【0066】このように、第2実施例の光波干渉測定装置においても、屈折率変動の補正のための参照光と測定光とのクロストークを実質的に回避することができ、精度の高い測定を行うことができる。また、第2実施例では、周波数 ω_2 の光と周波数 ω_3 の光とを用いた屈折率変動測定をヘテロダイン干渉方式で行っている。このため、電氣的または光学的にヘテロダイン周波数のみ取り出すことができるので、光源1の出力の変動による誤差を受けにくく、位相差 $\{D(\omega_3) - D(\omega_2)\}$ を正確に検出することができる。その結果、真の変位量Dの検出精度を向上させることができる。

【0067】また、第2実施例では、周波数 ω_3 の光だけを周波数 ω_3' の光に周波数シフトしているが、周波数 ω_2 の光および周波数 ω_3 の光をそれぞれ周波数 ω_2' の光および周波数 ω_3' の光に周波数シフトしてもよい。また、周波数 ω_2 の光だけを周波数 ω_2' の光に周波数シフトしてもよい。このように、周波数シフターを設けることにより、光源1への戻り光が回避され、光源1への戻り光による測定誤差を低減することができる。

【0068】また、上述の各実施例では、コーナーキューブプリズムからなる固定鏡および移動鏡を用いているが、コーナーキューブプリズムに代えて、平面鏡やキャッツアイ等を用いてもよい。さらに、上述の各実施例では、測長用光源12が偏光方位が互いに直交し且つ周波数が互いにわずかに異なる2つの光を射出し、この2周波光に基づいて移動鏡6の変位をヘテロダイン干渉方式

を用いて測定している。しかしながら、測長用光源からの単一の周波数を有する光に基づいて、ホモダイン干渉方式により移動鏡6の変位を測定しても良い。

【0069】

【効果】以上説明したように、本発明によれば、偏光方位回転手段とSHG変換素子との組み合わせ作用により、第3漏れ光と第2の光との干渉が回避される。さらに、第2漏れ光の強度は極めて小さいので、第2漏れ光と第3の光との干渉によるクロストークの影響は極めて小さく、測定精度は実質的に低下しない。その結果、偏光ビームスプリッターにおける漏れ光に起因するクロストークの低減された、測定精度の高い光波干渉測定装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の波長板21および22の作用について説明する図であって、(a)は比較のために波長板を備えていない従来例を、(b)は波長板を備えた第1実施例をそれぞれ示している。

【図3】本発明の第2実施例にかかる光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。

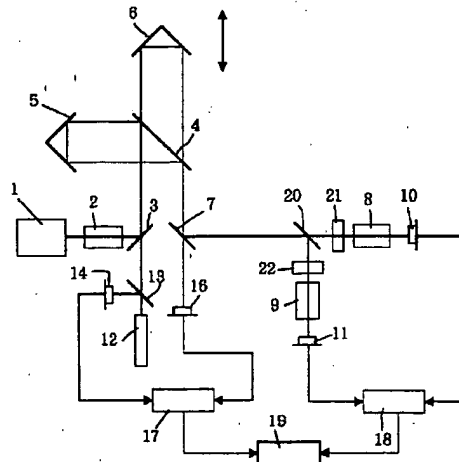
【図4】特願平6-335696号明細書および図面に開示の光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。

【図5】従来の光波干渉測定装置の構成を概略的に示す図である。

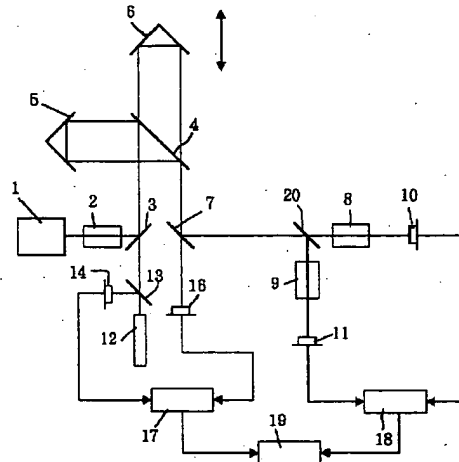
【符号の説明】

| | |
|-------|--------------|
| 1 | 光源 |
| 2、8、9 | SHG変換素子 |
| 3 | 周波数結合素子 |
| 4、20 | 偏光分離素子 |
| 5、6 | コーナーキューブプリズム |
| 7 | 周波数分離素子 |
| 10、11 | 受光素子 |
| 14、16 | 受光素子 |
| 12 | 測長用光源 |
| 13 | ビームスプリッター |
| 17、18 | 位相計 |
| 19 | 演算器 |
| 21、22 | 波長板 |
| 23 | 周波数フィルター |
| 24 | 音響光学素子 |

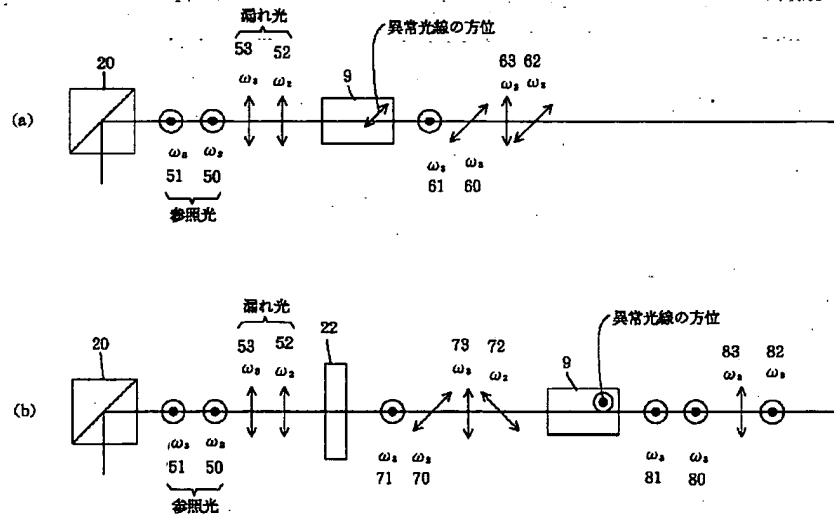
【図1】



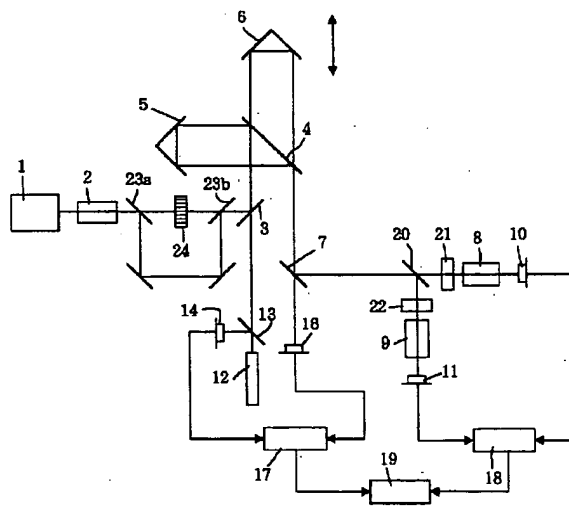
【図4】



【図2】



【図3】



【図5】

